

光学导引头探测器的装调技术研究

邓 准¹ 吕 琦¹ 那 佳¹ 赵 昕²

(1. 北京遥感设备研究所, 北京 100854; 2. 中国人民解放军驻北京国营 699 厂军事代表室, 北京 100854)



摘要: 通过分析探测器成像误差产生的原因和数值计算伺服机构回转轴偏差引起的成像误差, 解释了探测器实际装调中视场成像不对称现象。根据调试基准间的关系, 改善了探测器装调工艺, 解决了导引头探测器装调中成像精度差和不易调整的主要难题, 对此类导引头探测器的装配具有重要指导意义。

关键词: 光学导引头; 伺服机构; 探测器; 成像误差; 装调技术

Research on Assembly and Debugging Technology of the Detector of Optical Seeker

Deng Zhun¹ Lv Qi¹ Na Jia¹ Zhao Xin²

(1. Beijing Institute of Remote Sensing Equipment, Beijing 100854;

2. CPLA Military of Beijing State-owned 699 Factory, Beijing 100854)

Abstract: The cause of detector's imaging error is analyzed. The numerical calculations are made for the imaging errors caused by servo rotary axis deviation. Thus, it explains the phenomenon of asymmetric imaging precision in the actual assembly. According to the relationship between the debugging baselines, the process method mentioned in the research has improved the assembly process, solved the main problems of poor imaging accuracy and adjustment difficulty, and has important instruction significance for assembly and debugging technology of such detector of optical seeker.

Key words: optical seeker; servo mechanism; detector; imaging error; assembly and debugging technology

1 引言

光学导引头是精确制导武器的核心部件之一, 随着制导技术的发展, 制导精度越来越高, 型号种类越来越多。光学导引头上采用伺服机构, 可以扩大视场范围^[1~3]。由于光学系统的成像精度要求很高, 伺服机构的加工、装配和后期探测器的装配调试, 都会影响导引头的成像效果。导引头探测器装调过程中, 一方面要保证光学系统的成像质量, 还要兼顾导引头和导弹之间的位置关系。所以, 在探测器装调过程中, 如何控制伺服系统、光学系统、导引头安装面三者之间的关系, 成为探测器装配的难点。

2 问题分析

光学导引头的伺服机构含有内外框架, 外框架实现俯仰方向运动, 内框架实现方位方向的运动。光学系统和探测器安装在伺服机构内框架上, 在内外框架的运动下, 光学系统可以完成不同视角的目标观测, 将目标成像于探测器的焦平面上。工作原理为: 随着目标的移动, 成像于焦平面上的目标发生移动, 导引头对目标进行跟踪, 敏感元件测量出移动目标点与导弹轴线的偏差, 形成控制信号, 控制导弹偏转, 使导弹的轴线对准目标^[4]。光学导引头探测器在调焦和调

轴完成后,对伺服系统加电运行,电零位相对机械零位发生偏移,伺服预置角度后,左右视场精度不对称。

分析成像误差产生的原因,是解决误差的重要依据之一。探测器装配过程中存在以下几个问题。

a. 装调中参照基准多。装调中用到三个坐标系:一是导引头相对弹体的坐标系,二是伺服回转轴组成的坐标系,三是探测器光敏面本身也是一个坐标系,由它来确定目标成像的位置,然后将目标信息反馈给伺服系统和弹上计算机,伺服系统通过控制伺服来实现对目标的跟踪,使目标成像始终保持在视场中心。所以,只有光敏面的坐标系和伺服坐标系达到一致性时,才能达到理想的制导效果,在探测器装配过程,导引头需要放在转台上进行调试,这就在调整伺服机构和光学系统两者的坐标系关系时,引入了导引头相对于弹体的坐标系,此坐标系的精确性对于装配效果存在一定程度的影响。

b. 调试基准不准确。伺服系统的电零位是根据机械零位(零位销)来确定的,而电零位在标定过程中,由于标定精度受限,电零位与机械零位会产生微小误差,导致探测器装配的基准不准确。

在实际调焦调轴过程中,光敏面要以伺服的电零位为基准进行调试。这就引入了两个问题:第一,采用伺服电零位为基准调焦、调轴时,探测器相对于光学系统调整过程中伺服机构是运动的,调整量无法控制,很难达到理想的调整效果。同时,伺服电机承受很大的过载电流,易使电机损坏。第二,当采用机械零位时,机械零位和伺服电零位存在较大误差且无法确定,装配的位置也是不准确的。

3 分析手段及解决方法

结合以上探测器装配过程的难点和主要问题,将改进装配方法,解决成像精度差的问题。

成像精度主要靠伺服回转轴的回转精度和探测器焦平面的位置来保证。

首先,确定装配调焦过程中伺服机构回转轴偏差对成像效果的影响程度,以确定各自误差的可控范围,有针对性地进行调整,经检定,转台误差在合理范围内。

伺服电零位以机械零位为基准进行标定,伺服机构的机械零位是保证和总体一致性的工艺基准,而伺服的销钉孔是根据伺服机械零位位置配打的。从而得出伺服的机械零位是整机联调的基准,起着承上启下

的作用,关乎制导精度。

a. 调光轴

如图1,先用准直仪找准平行光管靶标的中心点,靶标采用十字靶标,然后,将伺服机构插上机械零位销,使其处于静止状态。再将平面反射镜安装到伺服机构的光学系统的安装面上,调整转台的俯仰和方位,使准直仪的十字线和平行反射镜的反射十字像重合。此时伺服机构光学系统安装面和平行光垂直,保证了导引头光轴和平行光平行的要求。

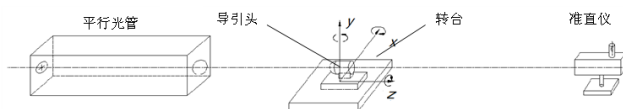


图1 探测器装调示意图

b. 以机械零位为基准进行调焦、调轴

从导引头上取下平面反射镜,机械零位销不取下,安装光学系统、探测器和头罩,连接信号处理器等电气系统,伺服控制系统不加电。调整探测器垫片厚度进行调焦;平移探测器,使探测器的中心位置和靶标中心位置重合。如图2所示,坐标 (x, y) 表示(方位,俯仰),将探测器焦平面四等分,旋转探测器,使探测器俯仰轴、方位轴与转台的俯仰轴、方位轴一致。主要目的:作为调整伺服电零位的基准和检验伺服机构的回转精确。

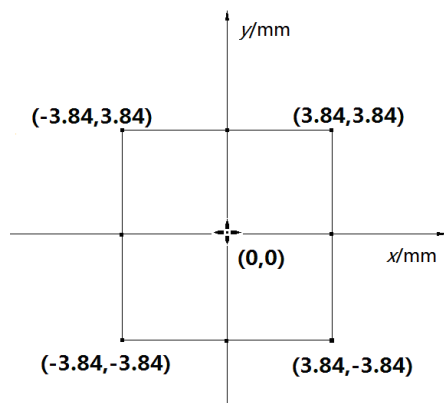


图2 探测器焦平面示意图

c. 确定伺服电零位和机械零位的偏差量

断电后,拆下机械零位销后,联接成像电路,伺服加电,伺服机构处于电零位状态。记录靶标在探测器上的成像位置,计算出伺服电零位和机械零位的偏差量,如图3所示。然后,电源断电,将伺服机构重新加上机械零位销,联接成像系统,伺服不加电,对

探测器进行反向调整,探测器的移动量为伺服电零位和机械零位偏差量的负值。

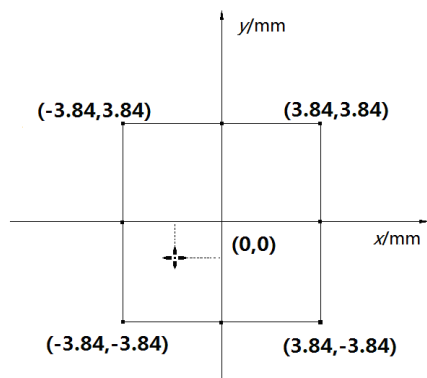


图3 探测器焦平面成像示意图

伺服电零位和机械零位的位置差值是在电零位标定过程中产生的,涉及到伺服机构标定电零位时所用的设备和软件,软件所引起的误差不进行具体分析。通过实验可以研究销钉引起的误差,反复插拔和旋转销钉,发现靶标在探测器上成像位置基本没有变化(不超过一个像素),所以,可以排除销钉和销钉孔配合所引起的电零位和机械零位的位置误差。

d. 确定伺服的回转精度

伺服系统电零位和机械零位存在偏差,通过调整后零位达到一致,但在伺服运动过程中,目标实际位置和探测器呈现位置偏差有多大,有何规律,按照以上调试方法,伺服机构能否保证探测器成像精度,通过实验只能得到一个综合的效果,不能有效说明问题。

在 Matlab 中采用坐标变换^[5]对探测器的运动轨迹进行模拟。对图1所示坐标系进行坐标变化,各坐标轴旋转变换矩阵如式(1)~式(3)所示。

$$Rot(x, \theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c\theta & -s\theta & 0 \\ 0 & s\theta & c\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$Rot(y, \theta) = \begin{bmatrix} c\theta & 0 & s\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -s\theta & 0 & c\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$Rot(z, \theta) = \begin{bmatrix} c\theta & -s\theta & 0 & 0 \\ s\theta & c\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中: θ ——绕坐标轴旋转角度,逆时针旋转为正值。

如图2所示,定义探测器上点1(3.84, 3.84),点2(0, 3.84),点3(-3.84, 3.84)三点进行坐标变换分析。伺服机构方位预置 $\pm 20^\circ$,转台反向 $\pm 20^\circ$,对靶标进行观察。

当伺服回转轴为理想状态时,如图3、图4所示,左边折线为伺服预置 20° 时探测器成像,右边线为伺服预置 -20° 探测器成像。

电零位像素偏差(-6, -6), 回转轴无偏差时

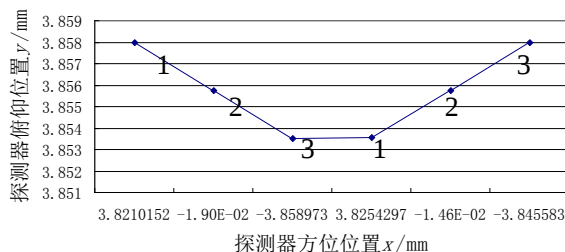


图4 伺服回转轴为理想状态时

当机械零位和伺服零位偏差-6个像素时,此时目标投影在光敏面的第3象限,见图3。以点1、点2、点3为研究对象,当回转轴为理想状态时,探测器预置 $\pm 20^\circ$ 两个位置,如图4所示,点1、点2、点3组成的连线基本对称,折合到像素上,观测右边视场时,点1像元误差在0.5个像元内,1个像元代表的视场角度为 0.016° ;观测左边视场时,点1像元误差在2个像元内。

电零位像素偏差(-6, -6), 方位回转轴偏差 0.067° 时

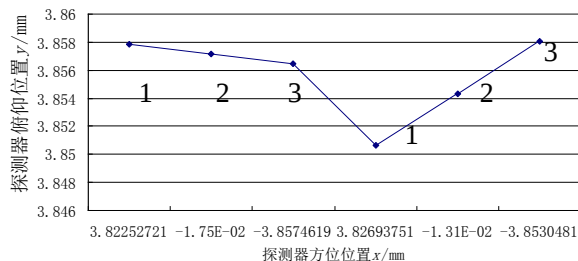


图5 伺服回转轴有偏差时

当方位回转轴倾斜 0.067° 时,如图5所示,右边视场,点1像元误差减小有限,仍在0.5个像元内;左边视场,点1像元误差变化较大,被扩大到在3个像元。从探测器俯仰点位置可以看出,伺服电零位和机械零位的偏差被伺服机构回转轴的误差放大,导致导引头观测到左右视场的目标精度不一致。

当电零偏差分别为 $(-6, 6)$, $(6, 6)$, $(6, -6)$ 个像素时,回转轴倾斜 0.067° 时,点1、点2、点3图形如图6~图8所示。

电零位像素偏差 $(-6, 6)$, 方位回转轴偏差 0.067° 时

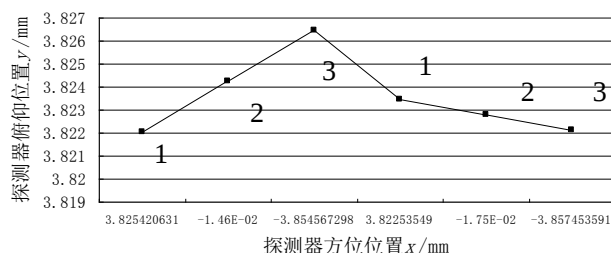


图6 电零偏差分别为 $(-6, 6)$

电零位像素偏差 $(6, 6)$, 方位回转轴偏差 0.067° 时

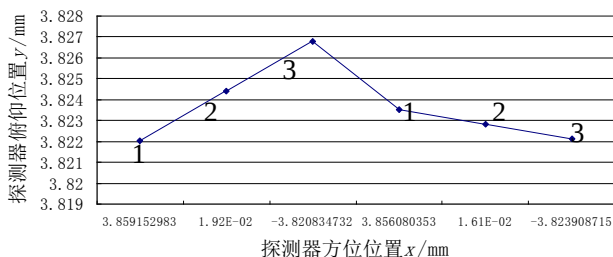


图7 电零偏差分别为 $(6, 6)$

电零位像素偏差 $(6, -6)$, 方位回转轴偏差 0.067° 时

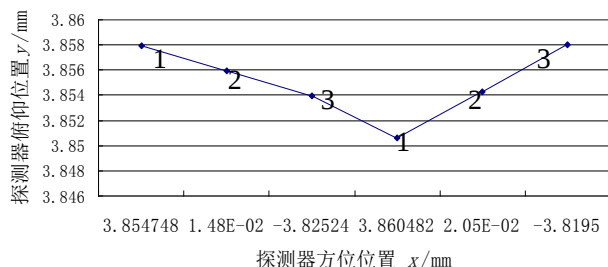


图8 电零偏差分别为 $(6, -6)$

从图6、图7、图8对比可以看出,电零位偏差的位置不同,在整机调试时我们会观察到不同的结

果。当电零位偏差为 $(-6, 6)$, $(6, 6)$ 个像素时,观察到的图形成“凹”形;当电零位偏差为 $(-6, -6)$, $(6, -6)$ 个像素时,观察到的图形成“凸”形。通过探测器的平移调整,保证了目标在探测器中心位置的成像精度。但在伺服机构预置角度后,由于回转轴的偏差所引起的像素误差不能消除,且预置角度越大,误差越大。导引头的成像精度是否达到指标要求,要根据预置角度后的所能承受的误差而定。在装调过程中,要控制转台、伺服机构的回转精度,台面平行度要高,销钉一定要准确合格,尽量减小外界因素影响成像精度。

4 结束语

通过分析探测器装配过程中影响成像精度的因素和数值计算伺服回转轴偏差对成像的影响,解释了探测器装配后,左右视场不对称现象,有效判断出装配中问题产生的原因,进而改善了装配工艺,满足了技术指标要求。通过带有伺服机构的光学导引头探测器的装配过程分析,可以得到以下结论。

a. 带有伺服机构的光学导引头探测器在装调过程中,必须考虑到光学导引头的安装基准,因为微小的误差会被伺服机构放大。同时需要注意的是,导引头的安装误差和成像误差通过机械零位销联系在一起。

b. 伺服机构回转轴的精度是影响光学成像精度的主要因素之一,而回转轴的偏差主要由加工、装配和伺服机构标定电零位时产生。

c. 探测器光敏面具有方向性,探测器的安装位置要保证光敏面和伺服机构回转轴组成的面绝对平行,绕光敏面法向无旋转错位。

参考文献

- 1 刘柯,等. 空空导弹红外导引头技术发展趋势及关键技术. 激光与红外技术, 2011, 41(10): 1117~1121
- 2 肖仁鑫,等. 滚俯仰式红外导引头稳定平台控制与仿真. 红外与激光工程, 2006, 36 (增刊): 363~365
- 3 张智永,等. 导引头伺服机构的控制系统分析与设计. 红外与激光工程, 2012, 4136(2): 494~499
- 4 杨建军. 低空导弹武器系统概论. 北京: 国防工业出版社, 2012
- 5 蒋刚,等. 工业机器人. 成都: 西南交通大学出版社, 2011

